

(19) **DD** (11) **236 811 A1**

4(51) G 02 B 26/10

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(44) 18.06.86

(72) Ramlow, Karl, Dipl.-Phys.; Kirmse, Gerhard, Dr.-Ing.; Wolf, Günther, Dipl.-Ing., DD

(54) Verfahren und Anordnung zur optoelektronischen Informationsgewinnung kontrastreicher Objektstrukturen mittels CCD-Bauelementen

(57) Verfahren und Anordnung zur optoelektronischen Informationsgewinnung kontrastreicher Objektstrukturen unter voller Ausnutzung des Dynamikbereiches von CCD-Bauelementen, wobei einem ersten CCD-Bauelement das volle Licht der Objektstruktur, einem zweiten und gegebenenfalls weiteren CCD-Bauelementen das Licht der Objektstruktur über einen Filter bzw. Filter mit jeweils steigendem Absorptionsvermögen zugeführt wird, daß eine Selektierung der Pixelinhalte des ersten CCD-Bauelementes bezüglich ihrer Sättigung erfolgt und nur die ungesättigten Pixelinhalte nach einer A/D-Wandlung abgespeichert werden. Bei der Auswertung der Pixelinhalte des zweiten und gegebenenfalls jedes weiteren CCD-Bauelementes werden nur noch die im Bereich der Sättigung liegenden Pixel des jeweils vorher ausgewerteten CCD-Bauelementes berücksichtigt, wobei diese dann wiederum auf Sättigung geprüft und die ungesättigten abgespeichert werden. Dieser Vorgang wird gegebenenfalls bis zum letzten CCD-Bauelement durchgeführt, dessen vorgeschalteter Filter so beschaffen ist, daß kein Pixel die Sättigung erreichen kann. Fig. 1

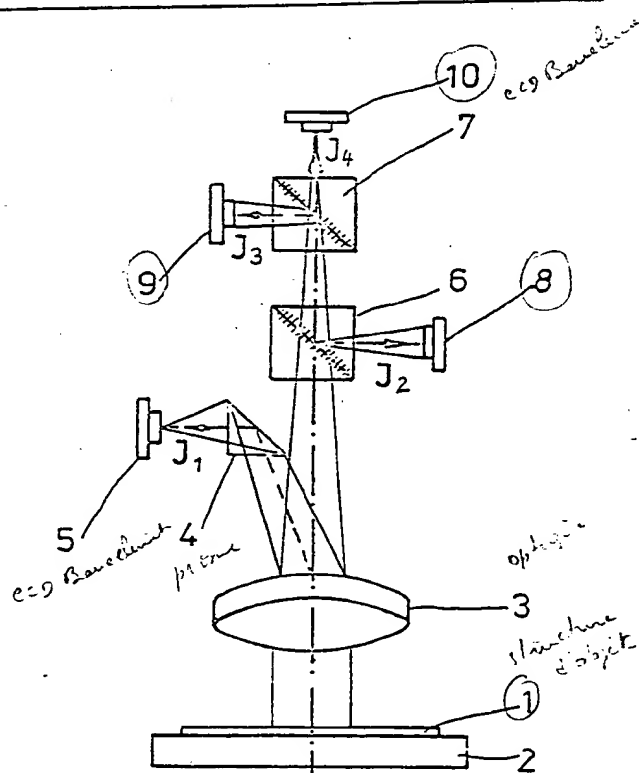


Fig. 1

### Patentansprüche:

1. Verfahren zur optoelektronischen Informationsgewinnung kontrastreicher Objektstrukturen unter voller Ausnutzung des Dynamikbereiches von CCD-Bauelementen, deren Pixelinhalte nach einer Analog-Digital-Wandlung einem Speicher zugeführt werden, **gekennzeichnet dadurch**, daß im Auslesevorgang eines ersten, mit dem vollen Licht der Objektstruktur beaufschlagten CCD-Bauelementes eine Prüfung der Pixelinhalte auf Sättigung und nur eine Abspeicherung der ungesättigten Pixelinhalte erfolgt und daß im Auslesevorgang eines zweiten und gegebenenfalls jedes weiteren CCD-Bauelementes, denen das Licht der Objektstruktur über einen Filter bzw. Filter mit jeweils steigendem Absorptionsvermögen zugeführt wird, nur noch die im Sättigungsbereich liegenden Pixel des jeweils vorherigen CCD-Bauelementes Berücksichtigung finden und wiederum nur die ungesättigten dem Speicher zugeführt werden.
2. Anordnung nach Punkt 1 zur optoelektronischen Informationsgewinnung kontrastreicher Objektstrukturen unter voller Ausnutzung des Dynamikbereiches von CCD-Bauelementen, bestehend aus einer Auflicht- oder Durchlichtbeleuchtungseinrichtung zur Objektstrukturbeleuchtung und aus optischen Übertrager- und Filterelementen zur Übertragung und Dämpfung der optischen Informationen von der Objektstruktur zu den CCD-Bauelementen, **gekennzeichnet dadurch**, daß mindestens zwei CCD-Bauelemente zu einer Objektstruktur ausgerichtet sind und mit dieser über die optischen Übertragungselemente in optischer Verbindung stehen und daß dem ersten CCD-Bauelement kein Graufilter, dem zweiten und gegebenenfalls jedem weiteren CCD-Bauelement Graufilter mit jeweils steigendem Absorptionsvermögen zugeordnet sind.
3. Anordnung nach Punkt 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Graufilter mit steigendem Absorptionsvermögen als Graukeil ausgeführt sind.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

### Anwendungsgebiet der Erfindung

Diese Erfindung läßt sich überall dort anwenden, wo CCD-Bauelemente für die optoelektronische Informationsgewinnung kontrastreicher Objektstrukturen eingesetzt werden.

### Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Fallen auf einen einzelnen Fotosensor (Pixel) einer zeilen- oder matrixförmigen Anordnung solcher Pixel Fotonen, so erzeugen diese in Abhängigkeit von ihrer Anzahl eine elektrische Spannung. Der Kennlinienverlauf zwischen Fotonenanzahl und erzeugter Pixelspannung ist in der Regel zwischen  $U_{\min}$  und  $U_{\max}$  linear, wobei  $U_{\min}$  der Fotonenanzahl entspricht, die eine solche Spannung (eben  $U_{\min}$ ) erzeugt, die sich vom Hintergrund gerade noch abhebt, und  $U_{\max}$  der kleinsten Fotonenanzahl entspricht, die eine solche Spannung (eben  $U_{\max}$ ) erzeugt, die sich auch bei Erhöhung der Fotonenanzahl nicht weiter vergrößert. Der Dynamikbereich eines Pixels liegt also zwischen  $U_{\min}$  und  $U_{\max}$  (bzw. den adäquaten Fotonenzahlen).

Wird bei einem Pixel die Fotonenzahl zur Erzeugung von  $U_{\max}$  überschritten, so bewirkt dies ein Übersprechen auf benachbarte Pixel und verfälscht somit deren Informationsinhalt. Im weiteren Verlauf wird das Erreichen von  $U_{\max}$  auch als Sättigung bezeichnet.

CCD-Bauelemente sind demzufolge immer im Bereich zwischen  $U_{\min}$  und  $U_{\max}$  zu betreiben (Dynamikbereich). Da die Pixelfläche fabriktionsbedingt konstant ist, läßt sich die Fotonenanzahl nur über die Verwendung von Dämpfungsfiltren oder über die Belichtungszeit steuern, in welcher das Pixel auf auftreffende Fotonen reagiert (Taktzeit).

CCD-Bauelemente werden vorwiegend zur optoelektronischen Umsetzung von flächenhaften Hell-Dunkel-Verteilungen eingesetzt. Dabei steht immer das Problem der vollständigen Ausnutzung des Dynamikbereiches unter Vermeidung des Sättigungsfallles. Beides ist im Stand der Technik in der Gemeinsamkeit noch nicht zufriedenstellend gelöst worden. Im Stand der Technik erfolgt eine Einstellung der Taktfrequenz bzw. die Verwendung von Dämpfungsfiltren so, daß an der hellsten Stelle der flächenhaften Hell-Dunkel-Verteilung (also an der Stelle des höchsten Fotonenstromes) der Sättigungsfall gerade noch nicht erreicht wird. Diese Methode hat folgende Nachteile:

1. Sie muß auch dann angewandt werden, wenn die hellste Stelle nur einen Bruchteil der zu inspizierenden Fläche ausmacht und die Restfläche Fotonenströme weit unterhalb dieses Maximums anbietet. Dabei wird erheblich Dynamikbereich verschenkt.
2. Diese Methode ist nicht anwendbar, wenn die hellste zu erwartende Stelle nicht vor der Messung zur Eichung des CCD-Bauelementes betrachtet werden kann (z. B. bei Lichtblitzen). Hier bleibt nur der Ausweg, mit einem außerordentlich hohen Fotonenstrom zu rechnen, was wiederum mit drastischen Dynamikbereichsverlusten verbunden ist.

In der DE-OS 2846662 wird eine Anordnung behandelt, die eine Veränderung des Dynamikbereiches bezüglich der Erfassung von Lichtmengen bei Objektiven im Vergleich zu solchen herkömmlicher Ausführung gestattet.

Erfindungsgemäß wird hierzu in eine bekannte Irisblende ein Dämpfungsfiltren eingesetzt, welches über eine kontinuierlich zunehmende Dichte, betrachtet vom Rand des Filters zu seinem Zentrum, durch welches die optische Achse verläuft, verfügt, oder das konzentrische Ringe aufweist, wobei die kleinste Kreisfläche um die optische Achse herum am dichtesten ist. Diese Einrichtung bewirkt zusätzlich zur Abblendung der Iris eine weitere Dämpfung.

Dem so ausgestatteten Objektiv nachgeordnete optoelektronische Wandler werden damit in die Lage versetzt, einen erhöhten Kontrastumfang zu verarbeiten, als das mit einem herkömmlichen Objektiv möglich wäre.

Nachteile dieser Lösung sind:

1. Es ist keine automatische Regelung der Blendenstellung in Abhängigkeit von der Helligkeit vorgesehen. Diese muß manuell erfolgen. Damit ist diese Einrichtung nicht für automatisch ablaufende Prozesse mit ständig wechselnden Kontrastverhältnissen einsetzbar.
2. Bei Verwendung von CCD-Bauelementen mit flächenhafter Ausdehnung und bei Vorhandensein von Helligkeitsunterschieden im Bildfeld ist trotz der beschriebenen Einrichtung der Sättigungsfall möglich.

## Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, ein Verfahren zu entwickeln und eine Anordnung zu schaffen, die es gestattet, den Dynamikbereich von CCD-Bauelementen voll auszunutzen und die im Stand der Technik aufgezeigten Nachteile (Einsatzbeschränkungen, keine Automatisierbarkeit, Vermeidung der Sättigung) zu beseitigen.

## Wesen der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zu entwickeln, mit welchem der Dynamikbereich von CCD-Bauelementen voll ausgenutzt werden kann, ohne daß Rücksicht auf die Grundhelligkeit und starke Kontrastschwankungen im Bildfeld beim Betrachten zweidimensionaler Hell-Dunkel-Felder genommen werden muß.

Des weiteren soll eine Anordnung zur Realisierung dieses Verfahrens geschaffen werden.

Die Aufgabe wird unter voller Ausnutzung des Dynamikbereiches von CCD-Bauelementen, deren Pixelinhalte nach einer Analog-Digital-Wandlung einem Speicher zugeführt werden, erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß im Auslesevorgang eines ersten, mit dem vollen Licht der Objektstruktur beaufschlagten CCD-Bauelementes eine Prüfung der Pixelinhalte auf Sättigung und nur eine Abspeicherung der ungesättigten Pixelinhalte erfolgt und daß im Auslesevorgang eines zweiten und gegebenenfalls jedes weiteren CCD-Bauelementes, denen das Licht der Objektstruktur über einen Filter bzw. Filter mit jeweils steigendem Absorptionsvermögen zugeführt wird, nur noch die im Sättigungsbereich liegenden Pixel des jeweils vorherigen CCD-Bauelementes Berücksichtigung finden und wiederum nur die ungesättigten dem Speicher zugeführt werden.

Dieses Verfahren wird durch eine Anordnung, bestehend aus einer Auflicht- oder Durchlichtbeleuchtungseinrichtung zur Objektstrukturbeleuchtung und aus optischen Übertrager- und Filterelementen zur Übertragung und Dämpfung der optischen Informationen von der Objektstruktur zu den CCD-Bauelementen erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß mindestens zwei CCD-Bauelemente zu einer Objektstruktur ausgerichtet sind und mit dieser über die optischen Übertragungselemente in optischer Verbindung stehen und daß dem ersten CCD-Bauelement kein Graufilter, dem zweiten und gegebenenfalls jedem weiteren CCD-Bauelement Graufilter mit jeweils steigendem Absorptionsvermögen zugeordnet sind.

Die Anordnung der CCD-Bauelemente zueinander ist vorzugsweise so vorzunehmen, daß sie parallel zueinander liegen und daß die Nummer des Pixels des jeweiligen CCD-Bauelementes, das bei der Abrasterung der Objektstruktur als erstes ein bestimmtes Bildelement erreicht, mit der Pixelnummer des folgenden CCD-Bauelementes übereinstimmt, welches als nächstes dieses Bildelement der Objektstruktur erfaßt.

Des weiteren kann in Abhängigkeit der Speichergröße, des Speicheraufbaues und der Speicherverwaltung eine Ausrichtung der CCD-Bauelemente so vorgenommen werden, daß sie:

1. alle gleichzeitig das gleiche Bildelement der Objektstruktur betrachten und das Auslesen der Pixelinhalte taktgesteuert seriell erfolgt,
2. gleichzeitig unterschiedliche Bildelemente der Objektstruktur betrachten und das Auslesen der Pixelinhalte taktgesteuert parallel erfolgt.

Die den CCD-Bauelementen, mit Ausnahme des ersten CCD-Bauelementes, vorgeschalteten Graufilter zur Sichtdämpfung werden bildseitig angeordnet und weisen von CCD-Bauelement zu CCD-Bauelement einen genau abgestuften und steigenden Dämpfungsgrad auf. Dem CCD-Bauelement, welches als letztes ausgelesen bzw. als letztes ein entsprechendes Bildelement der Objektstruktur erreicht, muß auch der Filter mit dem höchsten Dämpfungsgrad zugeordnet sein.

Mit der beschriebenen Anordnung wird gewährleistet, daß für das gleiche Bildelement der Objektstruktur bei jedem CCD-Bauelement eine andere Kennlinie des Fotonenstroms (Pixelspannung) entsteht, d. h.  $U_{max}$  tritt bei jedem CCD-Bauelement bei einer anderen Fotonenzahl ein, wobei das CCD-Bauelement, welches als letztes ausgelassen bzw. als letztes ein bestimmtes Bildelement der Objektstruktur erreicht, die größte Fotonenzahl zur Erreichung von  $U_{max}$  benötigt.

Sinnvollerweise sollte die Dämpfung an diesem letzten CCD-Bauelement so groß gewählt werden, daß der Sättigungsfall nicht mehr erreicht werden kann.

Die beschriebene Anordnung wird durch eine Elektronik ergänzt, die folgende Aufgaben hat:

1. Erreicht das i-te Pixel des ersten CCD-Bauelementes die Sättigungsspannung, so wird durch die Elektronik gewährleistet, daß nicht dieser Wert, sondern der Wert des i-ten Pixels des zweiten CCD-Bauelementes ausgewertet wird. Hat auch dieses Pixel Sättigungsspannung, so wird das i-te Pixel des dritten CCD-Bauelementes ausgewertet usw., so lange, bis ein i-tes Pixel eines K-ten CCD-Bauelementes unterhalb der Sättigungsspannung bleibt. Diejenigen Pixel des ersten CCD-Bauelementes und der jeweils folgenden, die unterhalb der Sättigungsspannung bleiben, werden gleich ausgewertet.
2. Erfassen die K-CCD-Bauelemente nicht gleichzeitig, sondern nacheinander gleiche Bildelemente, so werden durch einen seriell organisierten Speicher alle Signale derjenigen Pixel festgehalten, bei denen ein auszuwertender Wert auftaucht. Diese Speicherorganisation muß also auch gewährleisten, daß der Speicherplatz für das i-te Pixel so lange freigehalten wird, bis das CCD-Bauelement das auszuwertende Bildelement erreicht, von dem ein Wert unterhalb der Sättigungsspannung geliefert wird. Dies kann im ungünstigsten Fall bis zum letzten CCD-Bauelement dauern.

## Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird nachstehend anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1: Räumliche Anordnung der Funktionselemente

Fig. 2: Funktioneller Aufbau der Steuerelektronik

In Fig. 1 wird eine Objektstruktur 1, welche sich auf einem Koordinatentisch 2 befindet mit Auf- oder Durchlicht beleuchtet. Es erfolgt eine ungedämpfte Abbildung von Bildelementen der Objektstruktur über eine Optik 3, ein Prisma 4 mit der Intensität  $I_1$  auf das CCD-Bauelement 5.

Gleichzeitig erfolgt eine gedämpfte Abbildung der Bildelemente der Objektstruktur über die Teilerwürfel 6 und 7 auf die CCD-Bauelemente 8, 9 und 10, vor welchen sich Graufilter befinden, mit den Intensitäten  $I_2$ ,  $I_3$  und  $I_4$ . Hierbei ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$\begin{aligned} I_1 &= \text{ungedämpftes Licht} \\ I_2 &< I_1 \\ I_3 &< I_2 \\ I_4 &< I_3 \end{aligned}$$

Durch Relativbewegungen des Koordinatentisches 2 gegenüber den optischen Bauteilen und den CCD-Bauelementen erfolgt eine kamm- oder mäanderförmige Abtasterung der Objektstruktur. 1. Meßrichtung sollte diejenige sein, die senkrecht zur Zeilenlängsausdehnung der CCD-Bauelemente verläuft.

Des weiteren ist es möglich, daß die CCD-Bauelemente zeitlich nacheinander jeweils ein gleiches Bildelement der Objektstruktur erfassen. In diesem Fall sollte der Abstand der CCD-Bauelemente zueinander gleich gewählt werden. Zum Zeitpunkt  $T_0$  erfaßt CCD-Bauelement 5 das Bildelement A der Objektstruktur in den Abmessungen Pixelbreite und Pixelanzahl.

Über eine in Fig. 2 dargestellte Steuerelektronik werden die digitalisierten Spannungswerte aller der Pixel abgespeichert, die unterhalb der Sättigungsspannung bleiben. Zum Zeitpunkt  $T_0 + \Delta T$  erfaßt CCD-Bauelement 8 das Bildelement A. Hier wird durch die Steuerelektronik gewährleistet, daß nur noch die Pixel betrachtet werden, die bei CCD-Bauelement 5 im Sättigungsbereich waren. Die Pixel des CCD-Bauelementes 8, die nun unterhalb der Sättigungsspannung bleiben, werden ausgewertet, d. h., deren digitalisierte Spannungswerte werden abgespeichert.

Zum Zeitpunkt  $T_0 + 2\Delta T$  wird Bildelement A durch CCD-Bauelement 9 betrachtet und es wird wie bei CCD-Bauelement 8 verfahren. Dieser Vorgang wird gegebenenfalls bis zum letzten CCD-Bauelement wiederholt, wenn nicht vorher bei einem CCD-Bauelement alle restlichen Pixel beim Betrachten des Bildelementes A unterhalb der Sättigungsspannung bleiben. Die Steuerelektronik muß weiterhin gewährleisten, daß alle Bildelemente, die von CCD-Bauelement 5 im Zeitraum  $T_0 + \Delta T$ ,  $T_0 + 2\Delta T$  usw., bzw. von den nachfolgenden CCD-Bauelementen betrachtet werden, in digitalisierter Form abgespeichert werden.

Die Größe der geforderten Speicherkapazität des Speichers wächst proportional zu dem Abstand zwischen erstem und zweitem CCD-Bauelement.

Die erreichbare Abtastgeschwindigkeit hängt davon ab, ob die Videowerte zeitlich nacheinander oder über einen Multiplexer MUX alle gleichzeitig abgespeichert werden, bzw. zur Verfügung stehen.

Die Signalaufösung der Analog-Digital-Wandler ADU ist beispielsweise 4 Bit, d. h.  $2^4 = 16$  Graustufen. Die CCD-Bauelemente sind so zueinander justiert (durch DämpfungsfILTER u. ä.), daß ihre Sättigungswerte jeweils der höchsten Graustufe (Stufe 15) entsprechen. Damit ergibt sich pro Beleuchtungsstufe eine unterschiedliche absolute Beleuchtungsdifferenz pro Graustufe. Zur späteren Rückrechnung oder Weiterbehandlung der Beleuchtungswerte werden die Spannungswerte der einzelnen CCD-Bauelemente mit einer zum jeweiligen CCD-Bauelement gehörenden Konstanten K 1 bis K 4 (2 Bit breites Wort) gekennzeichnet.

Die in Fig. 2 dargestellten Komparatoren KP 1 bis KP 3 unterscheiden die Videesignale der Pixel danach, ob sie größer, gleich oder kleiner als die Graustufe 15 sind. Alle Pixel mit der Bewertung  $< 15$  werden entsprechend ihrer Pixeladresse in den Speicher M 4 eingeschrieben, indem sie das TOR passieren können. Die Adressen der Pixel mit Spannungswerten, die Graustufen  $\geq 15$  entsprechen, werden den Beleuchtungs-(Filter-)stufen entsprechend in den Speichern M 1, M 2 und M 3 gespeichert. Die Taktsteuerung der Speicher M 1 bis M 3 stimmt mit der der Pixel überein.

Die Analog-Digital-gewandelten Videosignale der Pixel des CCD-Bauelementes 5 werden, soweit sie Graustufen  $< 15$  aufweisen, unverzüglich in den Speicher M 4 eingeschrieben, während die gleichzeitig ausgelesenen Signale der CCD-Bauelemente 8, 9 und 10 in den Registern RG 1, RG 2 und RG 3 zwischengepuffert werden müssen.

Der Multiplexer MUX ordnet die Pixelsignale der drei Beleuchtungsstufen dem Speicher M 4 zu, welcher als Umlaufspeicher ausgeführt ist. Die jeweilige Speicherebene wird durch die Umlaufspeichersteuerung STU ausgewählt.

Die allgemeine Steuerung AST erhält von der Abtasteinrichtung den Takt der abzutastenden Bildzeilen und steuert ihrerseits die Pixel-Adreßsteuerung STS und die Umlaufspeichersteuerung STU. Durch die Umlaufspeichersteuerung STU wird ebenfalls das Auslesen der Videowerte der Pixel der CCD-Bauelemente 5, 8, 9 und 10 aus dem Umlaufspeicher M 4 gesteuert.

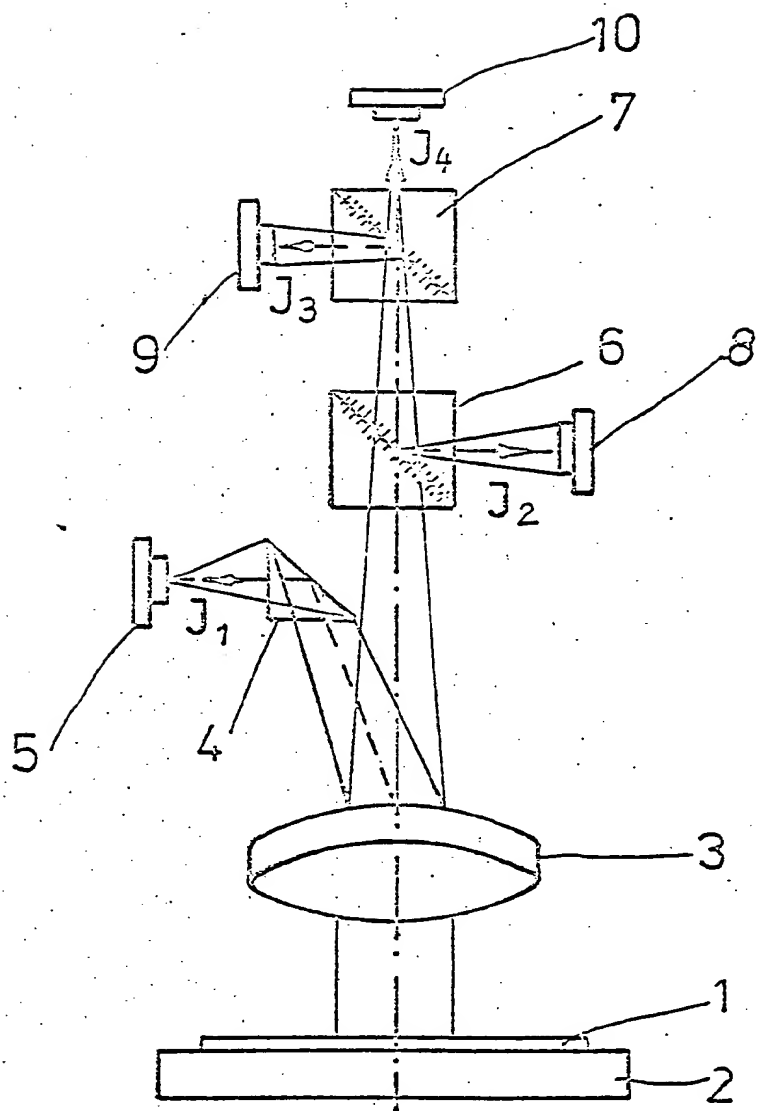


Fig. 1

